

Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské - Technické univerzity Ostrava

číslo 1, rok 2010, ročník X, řada stavební

článek č. 17

Lenka LAUSOVÁ¹

OSOvě ZATÍŽENÉ SLOUPY ZA POŽÁRU

AXIALLY LOADED COLUMNS DURING FIRE

Abstrakt

V příspěvku jsou srovnány únosnosti centricky tlačných ocelových a ocelobetonových sloupů za požáru. Srovnání je provedeno pro průřezy ocelových sloupů bez protipožární ochrany a také pro průřezy chráněné obkladem ze sádrovláknitých desek v jedné a dvou vrstvách.

Klíčová slova

Sloup, ocel, beton, požár, sádrovláknitá deska

Abstract

This paper compares the compressive load-bearing capacity of the steel column without any protection against fire and also with a protection from the gypsum wood-fibre board and the column protected with the concrete between the flanges in the fire design situation.

Keywords

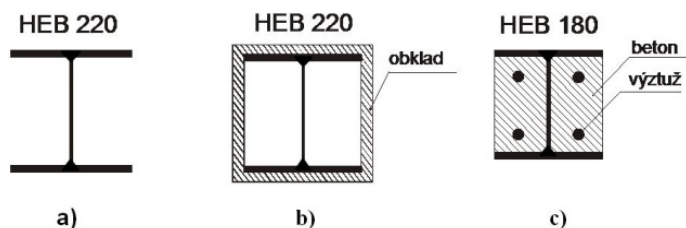
Column, temperature load, steel, concrete, gypsum wood-fibre board

1 ÚVOD

Výpočty v tomto příspěvku patří do kategorie posuzování dílčích prvků konstrukce za požáru, je postupováno podle současně platných norem [1], [2] a publikace [3]. Posuzovaný prvek konstrukce je osově zatížený sloup ocelového nebo ocelobetonového průřezu.

- Posuzované průřezy

Průřez ocelového sloupu je navržen z profilu HEB 220 a průřez ocelobetonového sloupu je HEB 180 s vybetonováním mezi pásnicemi viz obr.1. U ocelových sloupů je řešen průřez protipožárně nechráněný obr.1a) a průřez chráněný obkladem ze sádrovláknitých desek obr.1b) a to v jedné nebo ve dvou vrstvách.



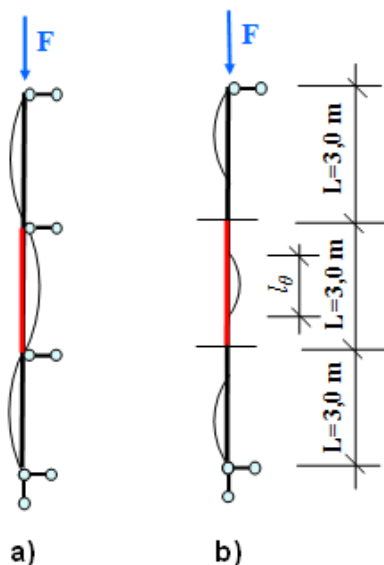
Obr.1: Průřezy posuzovaných sloupů: a) ocelový nechráněný průřez, b) ocelový průřez chráněný obkladem, c) ocelobetonový průřez

¹ Ing. Lenka Lausová, Katedra stavební mechaniky, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Poděště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 326, e-mail: lenka.lausova@vsb.cz.

Průřezy jsou zvoleny tak, aby sloupky za běžné teploty měly srovnatelnou únosnost. Za pokojové teploty vychází únosnost sloupky ocelového průřezu $N_{Rd} = 1820 \text{ kN}$ a ocelobetonového $N_{Rd} = 1890 \text{ kN}$, což je pro tento případ považováno za přibližně srovnatelné hodnoty. V příspěvku je provedeno porovnání únosností těchto sloupů v čase požáru za stejných podmínek.

- Statický model sloupů

Uložení sloupů v obou osách za běžné teploty je předpokládáno kloubové na obou koncích ($L_{cr}=L$), je počítáno s konstrukční výškou sloupů 3,0m. Jedná se o sloupky patrové budovy. Je-li sloup součástí vyztuženého rámu, lze jej za požáru považovat za vetknutý do sousedních pater a jeho vzpěrnou délku zkrátit až na polovinu ($L_{cr}=0,5L$) viz sloup ve středním podlaží na obr.2.



Obr.2: Vzpěrné délky sloupů: a) za běžné teploty, b) za požáru

- Metody výpočtu

Únosnosti ocelových sloupů v čase požáru jsou počítány iterační přírůstkovou metodou podle [3], únosnosti ocelobetonového sloupky jsou určeny podle jednoduchého výpočetního modelu viz [3] v čase trvání požáru 30, 60, 90 a 120 minut. Vzhledem k tomu, že jednoduchý výpočetní model u ocelobetonového prvku předpokládá rozvoj teploty podle nominální teplotní křivky, byla i pro výpočty ocelových průřezů použita stejná funkce pro nárůst teploty plynu.

2 ROZVOJ TEPLOTY V POŽÁRNÍM ÚSEKU

Rozvoj teploty plynu v požárním úseku je počítán podle normové teplotní křivky. Teplota plynu závisí pouze na době požáru a řídí se logaritmickou funkcí:

$$\theta_g = 20 + 345 \log(8t + 1) \quad (1)$$

kde:

θ_g – teplota plynu v příslušném požárním úseku [$^{\circ}\text{C}$] a
 t – čas [min].

3 OCELOVÝ SLOUP ZA POŽÁRU:

Průřezové a materiálové charakteristiky posuzovaného ocelového sloupky HEB 220 jsou:

$A = 9104 \text{ mm}^2$, $I_z = 28,43 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$, $L=3000 \text{ mm}$, ocel S235, $E=2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$.

3.1 Ocelový sloup - nechráněný průřez:

Přírůstek tepla v ocelové konstrukci $\Delta\theta_{a,t}$ je počítán iterační přírůstkovou metodou podle vztahů:

$$\Delta\theta_{a,t} = k_{sh} \frac{\frac{A_m}{V}}{c_a \rho_a} \dot{h}_{net,d} \Delta t \quad (2)$$

$$A_m/V = 1270/9100 = 139m^{-1} \quad (3)$$

kde:

$\Delta\theta_{a,t}$ – přírůstek teploty v průřezu [$^{\circ}C$],

ρ_a – měrná hmotnost oceli (= 7850 kg.m⁻³),

c_a – měrné teplo oceli v závislosti na teplotě viz [3] [Jkg⁻¹K⁻¹],

$\dot{h}_{net,d}$ – hustota tepelného toku viz [3] [Wm⁻²],

k_{sh} – součinitel vlivu zastínění (=1) a

A_m/V – součinitel průřezu vystavenému požáru ze všech stran [m⁻¹].

3.2 Ocelový sloup – obklad sádrovláknitou deskou:

Zpomalení nárůstu teploty v průřezu je ovlivněno tepelně technickými vlastnostmi ochranného materiálu a jeho tloušťkou. V tomto příspěvku byl zvolen obklad ze sádrovláknitých desek Rigidur. Sádrovláknitý je sádra armovaná celulóзовými vlákny. Přestože u srovnatelného obkladu ze sádrokartonu je součinitel tepelné vodivosti λ_p nižší a únosnost profilu by tedy vycházela mnohem příznivěji, sádrové desky se při vysokých teplotách rozpadají a tak jsou pro toto srovnání únosností vhodnější sádrovláknité desky díky vyšší pevnosti.

Pro sádrovláknitou desku je uvažována hodnota měrného tepla $c_p=1100$ Jkg⁻¹K⁻¹, součinitel tepelné vodivosti $\lambda_p = 0,35$ WK⁻¹m⁻¹, měrná hmotnost $\rho_p = 1200$ kgm⁻³. Obklad je pro srovnání zvolen jak v jedné vrstvě $d_p=15$ mm, tak i ve dvou vrstvách o celkové tloušťce ochranného materiálu $d_p=30$ mm.

Přírůstek teploty u chráněného průřezu $\Delta\theta_{a,t}$ se vypočte podle (4):

$$\Delta\theta_{a,t} = \frac{\lambda_p \frac{A_p}{V}}{d_p c_a \rho_a} \frac{\theta_{g,t} - \theta_{a,t}}{1 + \frac{\phi}{3}} \Delta t - (e^{\frac{\phi}{10}} - 1) \Delta\theta_{g,t} \quad (4)$$

$$\phi = \frac{c_p \rho_p}{c_a \rho_a} d_p \frac{A_p}{V} \quad (5)$$

$$A_p/V = 2(220+220)/9100 = 97m^{-1} \quad (6)$$

kde:

$\Delta\theta_{a,t}$ – přírůstek teploty v průřezu [$^{\circ}C$],

$\Delta\theta_{g,t}$ – přírůstek teploty plynu [$^{\circ}C$],

Δt – časový interval [sec],

θ_g – teplota plynu v čase t [$^{\circ}C$],

θ_a – teplota v průřezu v čase t [$^{\circ}C$],

λ_p – součinitel tepelné vodivosti ochranného materiálu [Wm⁻¹K⁻¹],

A_p/V – součinitel průřezu pro truhlíkové zakrytí konstantní tloušťky [m⁻¹],

c_a – měrné teplo oceli v závislosti na teplotě viz [3] [Jkg⁻¹K⁻¹],

ρ_a – měrná hmotnost oceli [kg.m⁻³],

- c_p – měrné teplo ochranného materiálu [$\text{Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$],
 ρ_p – měrná hmotnost ochranného materiálu [kg.m^{-3}] a
 d_p – tloušťka ochranného materiálu [m].

3.3 Únosnost ocelového sloupu za požáru

Výpočet únosnosti v osové tlaku při zatížení teplotou se vypočte podle vztahu:

$$N_{b,fi,Rd} = \frac{\chi_{fi} A k_{y,\theta} f_y}{1,2 \gamma_{m,fi}} \quad (7)$$

kde:

- χ_{fi} – součinitel vzpěrnosti [-], menší z hodnot $\chi_{y,fi}$ a $\chi_{z,fi}$ a vypočte se podle [1] nebo se odečte z křivky vzpěrné pevnosti c ,
 $k_{y,\theta}$ – redukční součinitel meze kluzu za požáru [-] viz [1],
 f_y – mez kluzu při běžné teplotě [MPa],
 A – průřezová plocha [m^2] a
 $\gamma_{m,fi}$ – součinitel spolehlivosti materiálu pro požární situaci (pro ocel $\gamma_{m,fi} = 1,00$).

Při výpočtech pro požární návrhovou situaci byla použita hodnota vzpěrné délky sloupu $L_{cr} = 0,5L$.

4 OCELOBETONOVÝ SLOUP ZA POŽÁRU

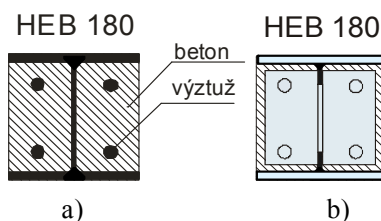
Průřezové a materiálové charakteristiky daného sloupu jsou:

- HEB 180: $A_a = 6530 \text{ mm}^2$, S235, $f_{ak} = 235 \text{ MPa}$, $E_a = 2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$, $I_{az} = 13,6 \cdot 10^6 \text{ mm}^2$
- Výztuž (4Ø25): $A_s = 4 \cdot (\pi \cdot 25^2 / 4) = 1\,964 \text{ mm}^2$, $f_{sk} = 500 \text{ MPa}$, $E_a = 2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$, $I_{sz} = 4,9 \cdot 10^6 \text{ mm}^2$
- Beton: $A_c = 180^2 - A_a - A_s = 23\,906 \text{ mm}^2$, C20/25, $E_{cm} = 0,29 \cdot 10^5 \text{ MPa}$, $I_{cz} = 71,4 \cdot 10^6 \text{ mm}^2$

Výpočet únosnosti ocelobetonového sloupu je proveden podle [2] a [3], kdy se u jednoduchých výpočtů dají použít tabelárně zpracované hodnoty součinitelů, které jsou založeny na odhadech teplot v době trvání požáru. Tímto způsobem lze určit únosnost posuzovaného průřezu v době trvání požáru 30, 60, 90, 120 minut.

4.1 Únosnost ocelobetonového sloupu za požáru:

Průřez sloupu se rozloží na jednotlivé komponenty. Podle narůstající teploty v požárním úseku se určí teplota v dílčích částech průřezu a vlivem této teploty i jejich snížená únosnost. Některé části průřezu mohou mít teplotu tak vysokou, že se jejich únosnost do výpočtu při požárním návrhu vůbec nezapočítá, viz obr.3b). Do výpočtu se uvažuje redukovaná (vybarvená) část průřezu, která se určí podle [3].



Obr.3: a) průřez ocelobetonového sloupu, b) redukovaná plocha průřezu

Následující výpočet je proveden podle [2] a [3].

- Únosnost ocelobetonového sloupu $N_{fi,Rd,z}$:

$$N_{fi,Rd,z} = \chi_{fi} (N_{fi,pl,Rd}) = \chi_{fi} (N_{fi,pl,Rd,f} + N_{fi,pl,Rd,w} + N_{fi,pl,Rd,c} + N_{fi,pl,Rd,s}) \quad (8)$$

kde:

$N_{fi,pl,Rd,f}$ – únosnost pásnice za požáru [kN],

$N_{fi,pl,Rd,w}$ – únosnost stojiny za požáru [kN],

$N_{fi,pl,Rd,c}$ – únosnost betonu za požáru [kN],

$N_{fi,pl,Rd,s}$ – únosnost výztuže za požáru [kN] a

χ_{fi} – součinitel vzpěrnosti pro křivku c a $\bar{\lambda}_{\theta}$ [-].

- Účinná ohybová tuhost (součet tuhostí dílčích částí):

$$(EI)_{fi,eff,z} = \varphi_{f,\theta} (EI)_{fi,f,z} + \varphi_{w,\theta} (EI)_{fi,w,z} + \varphi_{c,\theta} (EI)_{fi,c,z} + \varphi_{s,\theta} (EI)_{fi,s,z} \quad (9)$$

kde:

φ_{θ} - redukční součinitelé jednotlivých částí viz [3].

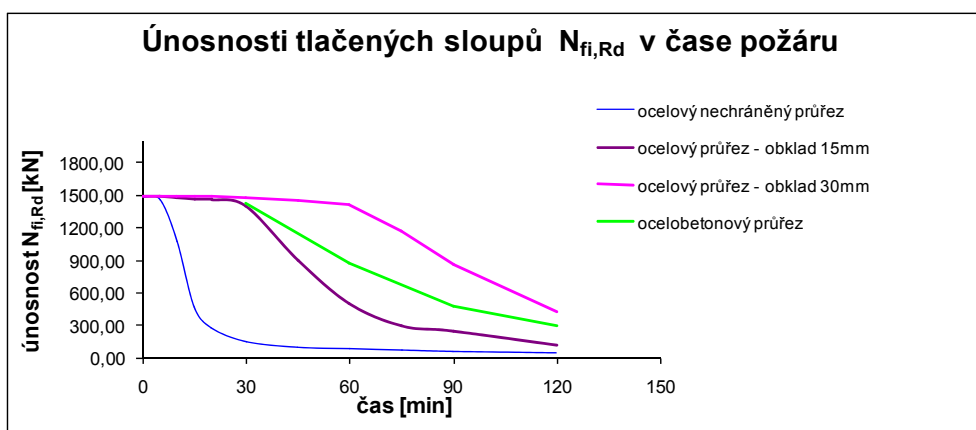
- Kritická Eulerova síla $N_{fi,cr,z}$ se vypočte podle (10). Vzpěrná délka řešeného sloupu za požáru l_{θ} je opět jako u ocelového uvažována $L_{cr} = 0,5L$.

$$N_{fi,cr,z} = \frac{\pi^2 (EI)_{fi,eff,z}}{l_{\theta}^2} \quad (10)$$

- Hodnota poměrné štíhlosti $\bar{\lambda}_{\theta}$ za požáru se vypočte podle (11):

$$\bar{\lambda}_{\theta} = \sqrt{\frac{N_{fi,pl,Rd}}{N_{fi,cr,z}}} \quad (11)$$

V grafu na obr.4 jsou znázorněny průběhy únosností ve vzpěrném tlaku posuzovaných sloupů v čase probíhajícího požáru.



Obr.4: Únosnosti posuzovaných sloupů v čase požáru

V tabulce 1 jsou vypočtené hodnoty únosností v tlaku $N_{fi,Rd}$ všech sloupů jak za běžné teploty, tak i v čase trvání požáru 30, 60, 90 a 120 minut.

Tab.1: Vybrané hodnoty únosností tlačných sloupů

Únosnost sloupů $N_{fi,Rd}$ [kN]					
typ průřezu	za pokojové teploty	v čase požáru t [min]			
		30	60	90	120
ocelový sloup - nechráněný	1820	147	77	59	46
ocelový sloup - obklad 15mm	1820	1396	498	247	113
ocelový sloup - obklad 30mm	1820	1471	1414	862	426
ocelobetonový sloup	1890	1423	871	473	293

5 ZÁVĚR

Výpočtem únosností osově tlačných sloupů je možné vytvořit si představu, jaký typ průřezu může být vhodnější vzhledem k požadované požární odolnosti viz graf na obr.5 a hodnoty únosností v tabulce 1. Únosnost nechráněného průřezu ocelového sloupu za požáru velmi rychle klesá již v prvních minutách. Vybetonováním ocelového profilu mezi pásnicemi se dosáhne nejen zajištění únosnosti konstrukce, ale také zpomalení nárůstu teploty v ocelovém profilu díky chladnějšímu betonu. Obložení sloupu obkladem ze sádrovláknité desky se dosáhne výrazného zpomalení přestupu tepla do ocelové konstrukce a tím i zachování únosnosti sloupu v čase požáru.

LITERATURA

- [1] ČSN P ENV 1993-1-2 – Navrhování ocelových konstrukcí, Obecná pravidla, Navrhování konstrukcí na účinky požáru.
- [2] ČSN P ENV 1994-1-2 – Navrhování ocelobetonových konstrukcí, Obecná pravidla, Navrhování konstrukcí na účinky požáru.
- [3] WALD, F. a kol. Výpočet požární odolnosti stavebních konstrukcí. ČVUT Praha. 2005. ISBN 80-01-03157-8.
- [4] EN 1993-1-2:2004 – Ocelové konstrukce.

Oponentní posudek vypracoval:

Ing. Miloslav Šeliga, STACAD, s.r.o.